

SUBVOXEL CORTICAL BONE THICKNESS MEASUREMENT

Oldřich Kodým

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkodym01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Jan

E-mail: jan@feec.vutbr.cz

Abstract: The project is aimed at analysing the thickness of vertebral cortical shell in medical CT data. As the cortical bone thickness is usually smaller than the spatial resolution of the scanner, it is impossible to base the analysis upon mere segmentation of the cortical bone. The proposed method uses rough segmentation to locate the cortical bone and then makes use of a machine learning technique with synthetic training data to analyse its thickness.

Keywords: computed tomography, cortical bone thickness, random forest regression

1 ÚVOD

Tloušťka kortikální skořápky kosti a její úbytek je spolu s minerální kostní denzitou důležitým ukazatelem osteoporózy, populační choroby, která ve dnešní stárnoucí populaci způsobuje stále častěji závažné fraktury. Protože lokální úbytek kortikální tloušťky může být jediným projevem lokální osteoporózy [1], automatická analýza kortiky v CT datech by měla silný význam pro prevenci. Protože se však tloušťka obecně pohybuje v rozmezí 160-600 μm , což je méně než rozměr jednoho voxelu běžných CT skenerů, je obraz kortiky silně zatížen partial-volume artefaktem. Analýza tedy nemůže vycházet pouze ze segmentované masky kortikální kosti ani z jednotlivých jasových hodnot voxelů, ve kterých nelze s přesností určit podíl kortikální kosti vůči ostatním tkáním.

Publikované automatické metody určení tloušťky kortikální vrstvy vychází nejčastěji ze sledování jasových hodnot ve směru normály na segmentovaný povrch kosti. Reprodukovatelnou přesnost měření však uvádí pouze pro snímky se zvýšeným rozlišením, kde je kortikální kost silnější než 3 voxely. V běžných datech s nižším rozlišením navíc drobné chyby segmentace kosti způsobují silné odchylky směru normály a tyto metody tedy nejsou použitelné. Níže navržená metoda je vůči odchylkám segmentace robustní a počítá s tloušťkou kortiky v řádech méně než jeden voxel.

2 LOKALIZACE KORTIKÁLNÍ ČÁSTI KOSTI

Prvním krokem navržené metody je lokalizace kortikální vrstvy obratle. Vychází z přibližné segmentace těla obratle a jeho zadního segmentu registrační metodou, která byla vyvinuta v rámci spolupráce s firmou Philips a není součástí této práce. Tato přibližná segmentace, která je spolu s původními daty vstupem do navržené metody, je dále v rámci předzpracování před samotnou analýzou upravována morfologickými operacemi a grafovými metodami následujícím způsobem.

Přibližná binární maska těla obratle je nejprve morfologicky erodována tak, aby nepřesahovala vnitřní trabekulární kost. V oblasti rozdílu mezi erodovanou a původní maskou je metodou nalezení minimálního řezu grafem nalezena přesnější hranice mezi kortikální a trabekulární kostí. Z nově získané masky je opět pomocí morfologických operací zachována pouze vnější vrstva o tloušťce jeden voxel. Následná analýza probíhá pouze na voxelech ležících na této masce, jejíž voxely přesněji odpovídají kortikální kosti.

3 ANALÝZA TLOUŠŤKY KORTIKÁLNÍ ČÁSTI KOSTI

Analýza spočívá v odhadu tloušťky kortikální vrstvy na každém voxelu masky. Analýza každého voxelu vychází z jasových hodnot v jeho okolí daném krychlí o straně 5 voxelů se středem v analyzovaném voxelu. Těchto 125 jasových hodnot slouží jako vstup do algoritmu náhodného regresního lesa, který obecně dosahuje poměrně přesných výsledků u vysoce nelineárních regresních problémů, jakým je i určení tloušťky tělesa v malém silně zašuměném objemu z jasových hodnot.

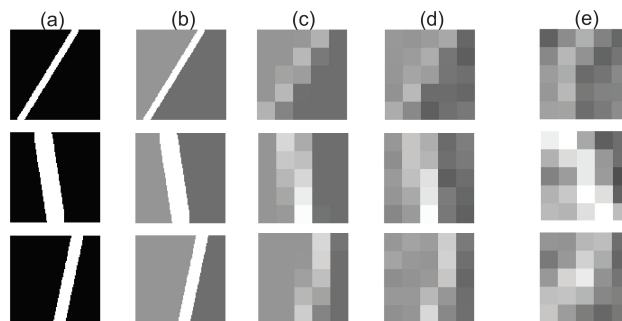
3.1 METODA NÁHODNÉHO REGRESNÍHO LESA

Algoritmus je založen na průměrování výsledků binárních rozhodovacích stromů. Každý strom postupně dělí mnohorozměrný prostor příznaků (jasových hodnot) na jednotlivých příznakových osách v náhodném pořadí. Dělení prostoru na každé ose probíhá tak, aby byla v obou nových podprostorech odchylka průměrné výstupní hodnoty (tloušťky kortikální kosti) od všech jednotlivých výstupních hodnot v trénovací množině co nejmenší. Na terminálních listech těchto stromů je průměrná hodnota výstupní proměnné v dosaženém podprostoru trénovací množiny. Je-li trénovací množina dostatečně rozsáhlá na to, aby bylo možné vytvořit několik desítek až stovek takovýchto rozhodovacích stromů, přičemž každý z nich dělí prostor příznaků podle jiné posloupnosti příznakových os, lze zprůměrováním jejich výstupů dosáhnout robustního odhadu výsledku [2].

Výhodou metody je kromě robustnosti také absence nastavitelných parametrů, na kterých by kvalita odhadu závisela. Je však zapotřebí dostatečně obsáhlá trénovací množina, kterou je v případě takto malých rozměrů tělesa nemožné vytvořit manuálně z nasnímaných dat. Vhodné je také mít pro každý obratel vlastní trénovací množinu, jelikož s pacientem, skenerem a polohou obratle značně kolísají i jasové hodnoty kortikální kosti a okolních tkání. Pro účel této analýzy jsou proto pro každý obratel generovány vlastní syntetická trénovací data.

3.2 GENEROVÁNÍ SYNTETICKÝCH TRÉNOVACÍCH DAT

Každý ze synteticky vytvořených trénovacích výřezů vychází z trojrozměrného obrazu plochy o vysokém rozlišení, náhodném posunu a rotaci a předem známé tloušťce (obr. 1.a). Takovýto objem je následně váhován jasovými hodnotami kortikální a trabekulární kosti a jejich okolí získaných z analyzovaného CT snímku obratle (obr. 1.b) a tím adaptován na konkrétní obratel. Dále je bez interpolace decimován na rozměr odpovídající analyzovanému okolí voxelu, tedy krychle o straně 5 voxelů (obr. 1.c) a zašuměn gaussovským šumem (obr. 1.d). Tento postup simuluje postupnou degradaci scény při zobrazovacím procesu. Pro srovnání jsou uvedeny náhodné skutečné výřezy kortikální kosti z nasnímaných CT dat (obr. 1.e). Pro každý obratel je takto generováno 2000 individuálních syntetických výřezů a ty jsou použity pro trénování náhodného regresního lesa.

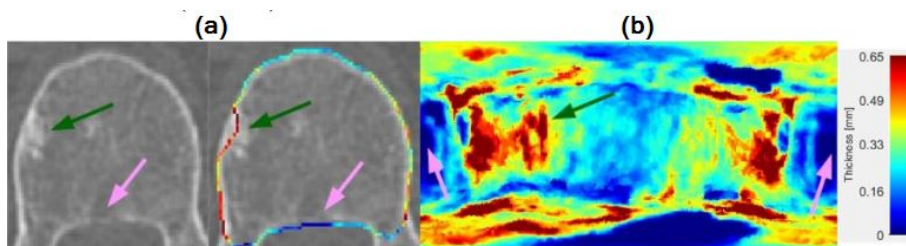


Obrázek 1: Příklad postupu vytvoření syntetických dat (a-d) a výřezů skutečných dat (e).

4 VIZUALIZACE VÝSLEDKU

Výsledek analýzy je zobrazen dvěma způsoby, pro oba je opět využita přibližná binární maska kortikální kosti (viz sekce 2). Na té je barevně kódována tloušťka v odpovídajících voxelích. V prvním způsobu vizualizace je po řezech fúzována s původními nasnímanými CT daty, na kterých lze provést vizuální kontrolu správnosti výsledku analýzy (obr 2.a).

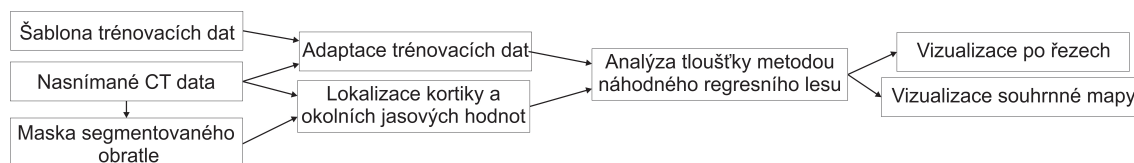
Druhé zobrazení je tvořeno souhrnnou mapou kortikální kosti. Ta vzniká převedením objemu váhované masky kortikální kosti do sférických souřadnic s počátkem v těžišti obratle, kde osa x odpovídá azimutu, osa y elevačnímu úhlu a barevnými hodnotami je opět kódována tloušťka kortikální kosti na odpovídající pozici. Radiální vzdálenost je v této kulové projekci zanedbána a dochází tedy ke ztrátě informace o tvaru obratle (obr 2.b).



Obrázek 2: Příklad výstupu ve formě jednoho řezu (a) a souhrnné mapy (b).

5 ZÁVĚR

Princip navržené metody je shrnut na obrázku 3. Implementována a testována byla v programovacích prostředích Matlab a python 3.5 na CT datech s isotropním prostorovým rozlišením 0,67 mm.



Obrázek 3: Shrnutí principu metody.

Z ukázky vizualizace výstupu je zřejmé, že výsledný odhad dobře sleduje pozvolné změny tloušťky kortikální kosti podél obrysu obratle stejně jako náhlé lokální deformace i přesto, že se jedná o objekt o šířce zhruba jedné poloviny voxelu. Ačkoliv metoda dosáhla při testování na syntetických datech průměrné odchylky pouze 17% v oblasti fyziologických tlouštěk, je složité otestovat stabilitu odhadu mezi pacienty. Nabízí se například sledovat spojitost stavu kortikální kosti s obsahem kostního minerálu v těle obratle či lokálních úbytků kortikální kosti s incidencí fraktur v odpovídajících oblastech.

REFERENCE

- [1] POOLE, Kenneth E. S., Graham M. TREECE, Paul M. MAYHEW, et al. Cortical Thickness Mapping to Identify Focal Osteoporosis in Patients with Hip Fracture. DOI: 10.1371/journal.pone.0038466.
- [2] BOULESTEIX, Anne-Laure, Silke JANITZA, Jochen KRUPPA a Inke R. KÖNIG. Overview of random forest methodology and practical guidance with emphasis on computational biology and bioinformatics. DOI: 10.1002/widm.1072.